

■報告書■ 2004 年度神奈川大学総合理学研究所助成共同研究

ケナフ植生による重金属抽出

黒澤祥子¹ 大石不二夫^{1,3} 鈴木祥弘² 澤上航一郎²

Heavy Metal Extraction by Kenaf Vegetation

Shoko Kurosawa¹, Fujio Ohishi^{1,3}, Yoshihiro Suzuki² and Koichiro Sawakami²¹ Department of Chemistry, Faculty of Science, KANAGAWA University, Hiratsuka-City, kanagawa 259-1293, Japan² Department of Biological Science, Faculty of Science, KANAGAWA University, Hiratsuka-City, kanagawa 259-1293, Japan³ To whom correspondence should be addressed. E-mail: fujio@chem.kanagawa-u.ac.jp

Abstract: Kenaf (British great Kenaf, scientific name *Hibiscus cannabinus* L) is an annual plant of Malvaceae Hibiscus L. of West African origin, and is remarkable as a new pulp resource. Its ability to fix carbon dioxide is excellent because growth is rapid, and it is reported that its ability equals that of tropical forests. In addition, it is possible to use it for soil cleaning and water quality purification. This research, focussed on kenaf's high water absorption capacity from the soil and its ability, to remove heavy metals from the soil, especially lead, and to reduce ground water pollution. Kenaf was grown in Hyogo Prefecture and kenaf and sorghum were grown in the tropical simulation room in our campus. These plants were burnt to ash, and the total quantity of absorbed lead was measured by atomic absorption spectrometry. Lead absorbed from the soil by kenaf vegetation was also clarified in samples processed with nitric acid. A large amount of lead was accumulated in the wood part but not so much was accumulated in the bark or the living parts of the plant. It is recommended that you should harvest to absorb the heavy metal efficiently while growing up.

Keywords: kenaf, sorghum, lead, atomic absorption spectrometry, ground pollution

序論

背景

地球は地殻に覆われ、地殻は岩石と土壌からなり、土壌は岩石が長年にわたり雨風などにより風化したもので、土壌の厚さは全陸地平均で約 20cm しかない。「土」という字は「一」が地面を「十」が地面に生育する植物を表し、「壤」は「豊穰」と同じ意味で穀物が良く実ることを意味する。つまり土壌は、植物の生育基盤であり、人間も含めた動物に食糧を供給している。また、植物・動物の遺体や排泄物を土壌中の生物が分解し、土壌は植物の栄養源となっている。このように、土壌は大気や水と並び、陸地の植物、微生物、昆虫、鳥類、魚類、哺乳類などの生態系維持を欠くことのできない重要な役割を果たしている。

土壌・地下水汚染とは、汚染物質が土壌に浸透して土壌を汚染するのみならず、地下水まで汚染する

ことであり、地質汚染や地下環境汚染ともいう。重金属類は、比重が 4 以上と重く、土壌に吸着されやすく、水にも溶けやすい（特に酸性水）ので、土壌汚染や地下水汚染を起こす。

現代文明は、「地下資源文明」といわれるほど、地下資源に依存している。地下から金属、石炭、石油、石灰石、土石などの地下資源を大量に採掘し、これらを原燃料として工業製品を大量に生産し、大量に消費し、最後に大量に廃棄している。そして資源採掘、生産、消費および廃棄の各プロセスにおいて、重金属類、化学物質、放射性物質などの汚染物質を環境中に排出し、環境を汚染する。環境汚染は、大気、水質、土壌、生物などさまざまな媒体で発生し、植物などとしてこれらを体内に取り込む人間にも影響する。

大気汚染や水質汚濁と異なり、土壌・地下水汚染

は目に見えない地下で起こり、蓄積性汚染なので発見しにくく、発見されても対策が困難な場合が多く、汚染の浄化には長い時間と多額の費用を必要とする特徴がある。汚染源としては、工場の工程・施設・床面などからの汚染物質の漏洩、汚染物質を含む工場排水の地下浸透、汚染物質を含む廃棄物処分場からの排水や地下浸透などが多い。汚染物質としては、重金属類、化学物質、放射性物質などと多岐にわたる。

また、ケナフ（英名 Kenaf 学名 *Hibiscus cannabinus* L.）は、西アフリカ原産のアオイ科（Malvaceae）フヨウ属（*Hibiscus* L.）の一年草の植物であり、新パルプ資源として注目を浴びている。成長が早いため二酸化炭素の固定能力が優れており、その能力は熱帯雨林にも匹敵することが報告されている。土地の有効利用を考え栽培を行えば森林保護にも繋がり、さらに土壤改良や水質浄化にも利用できる。今まで報告されているケナフが吸収する元素や金属は、窒素（N）、リン（P）、ナトリウム（Na）、ホウ素（B）、カルシウム（Ca）、鉄（Fe）、マグネシウム（Mg）、マンガン（Mn）、ニッケル（Ni）、亜鉛（Zn）、銅（Cu）、カドミウム（Cd）、鉛（Pb）、セレン（Se）などがある。

目的

本研究では、ケナフの持つ土壌からの水分など高い吸収能力を活用して、土壌中の重金属、特に鉛を土壌中から除去し、土壌汚染を改善することを目的とする。最終的には宅地や農地などへの再利用を目標に掲げる。

兵庫県で栽培したケナフ、さらに校内の熱帯シミュレーションシステムで栽培したケナフを乾燥させて、茎を皮と木質部に分ける。これらの試料を灰化させ、硝酸で処理した試料を原子吸光分析測定することによって、ケナフがどれだけ鉛を吸収したかが分かり、ケナフ植生による土壌中の鉛吸収性を解明する。

試料と方法

試料

本研究では、兵庫県にある工場の敷地内と校内の熱帯シミュレーションシステムでの水耕栽培及び別の汚染土壌を用いて栽培したケナフを使用する。

ケナフと比較を行うために、トウモロコシ科のソルガムを兵庫県の工場敷地内で栽培しているものを用いる。また、ケナフやソルガムの栽培前後で土壌中の鉛の濃度を測定するために、土壌を採取し、測定を行う。

10月の兵庫県のケナフは地表から120cmのところで上下に区切り、ソルガムは地表から100cmのところで上下に区切った。また、土壌の表土は根にまわり付いていた土を採取し、深土は約30cm以下の土を採取した。それぞれの試料の概要を表1に示す。

表1. 試料

試料	育生場所等	種類
ケナフ	兵庫県 水耕栽培 別土壌	EVERGRADES41 (アメリカ産)
ソルガム	兵庫県	ファーストソルゴー (サカタの種)
土壌	兵庫県 別土壌	— —

原子吸光分析法

AAS（フレイム原子吸光分光法）やFLAA（フレイムレス原子吸光分光法）では、重金属元素を原子の蒸気にして、中空陰極ランプを用いて特定の波長の光を原子蒸気に当てる。このときに光の一部は原子にエネルギーを与えて原子の電子状態を励起させ、特定の波長の光の吸収が光電子増倍管やフォトダイオードで検出される。原子の数が多いほど、エネルギーを失う光の量も増加するので、光の吸収量は原子の濃度に比例する。また、吸収される光の波長は原子の種類によって異なるため、これらの原子の励起状態に適した様々な波長の光を照射する単色光ランプを使うことにより、様々な重金属の濃度を測定できる。

フレイム原子吸光分光法では試料原子化部でアセチレンなどを燃焼させ、そのアセチレンの燃焼で発生する炎（フレイム）中に試料溶液を噴霧して、炎の中で検液中に溶存する重金属を原子蒸気化している。非常に感度が高く、試料中の鉛元素の定性及び定量を行う。

本研究では原子吸光分析の検量線法を用いるために、基準の溶液の鉛の濃度を 5 ppm、3 ppm、2 ppm、1 ppm、0.5 ppm、0 ppm に設定した。

試料の調整方法は、植物体は乾燥させて粉末状にし、1 g 測り取ったものを灰化させてから、0.1 mol/l の硝酸に溶かす。土壌試料は、まず純水で洗浄して乾燥させてから 1 g 測り取り、0.1 mol/l の硝酸に溶かす。

表 2. 原子吸光分析の測定条件

分析機器	島津原子吸光フレイム分光光度計
分析線波長	283.3 nm
	AA-660

結果

ケナフが鉛をいくら吸収したか、また土壌からどの程度の鉛が減少したかを調べるために原子吸光分析を行った。測定結果を示した表を表 3～5 に示す。土壌の鉛の濃度の変化および植物体の鉛濃度の変化を図 4～7 に示す。

また、測定した際の検量線のグラフおよび近似線の式を図 1～3 に示す。

表 3. 原子吸光分析の結果

Sample	Conc.(ppm)	absorbance
検量線用標準溶液	0	0
	0.5	0.012
	1	0.024
	2	0.047
	3	0.07
	5	0.116
未知 10000 倍希釈	0.531	0.012
未知 100 倍希釈	41.59	0.82
未知試料	93.93	1.591

表 4. 原子吸光分析の結果

Sample	Conc.(ppm)	absorbance
検量線溶液	0	0
	0.5	0.012
	1	0.024
	2	0.049
	3	0.071
	5	0.119
ケナフ 木質部 まびき	0.581	0.014
ケナフ 葉 まびき	0.194	0.004
ケナフ 皮 まびき	0.096	0.001
ソルガム 茎 まびき	0.169	0.003
ソルガム 葉 まびき	0.744	0.018
5 月兵庫 表土①	3.242	0.078
5 月兵庫 深土①	0.185	0.004
5 月兵庫 表土②	4.763	0.113
5 月兵庫 深土②	0.275	0.006
5 月兵庫 表土③	4.03	0.096
ケナフ 葉 未知濃度土壌	0.204	0.004
ケナフ 木質部 未知濃度土壌	0.407	0.009
ケナフ 皮 未知濃度土壌	0.211	0.004
10 月兵庫 ケナフ 表土①	5.642	0.133

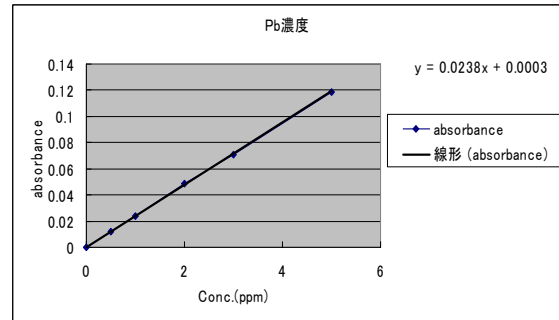


図 1. 表 3 の試料を測定した際の検量線および近似線式。

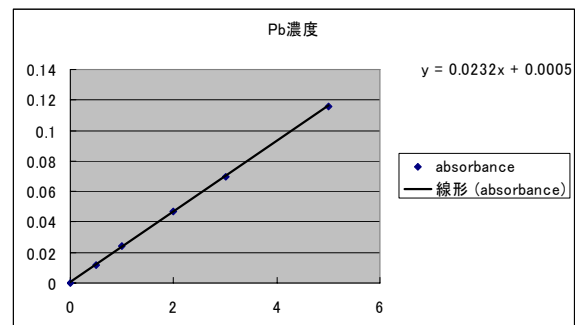


図 2. 表 4 の試料を測定した際の検量線および近似線式。

表 5. 原子吸光分析の結果

Sample	Conc.(ppm)	absorbance
検量線溶液	0	0
	0.5	0.011
	1	0.024
	2	0.047
	3	0.073
	5	0.117
5 月兵庫 深土③ 100 倍希釈	0.711	0.017
10 月兵庫 ケナフ 深土① 100 倍希釈	0.408	0.01
10 月兵庫 ケナフ 深土② 100 倍希釈	0.859	0.021
10 月兵庫 ケナフ 深土③ 100 倍希釈	0.394	0.009
10 月兵庫 ソルガム 深土② 5 倍希釈	1.698	0.041
10 月兵庫 ソルガム 表土② 5 倍希釈	2.029	0.049
10 月兵庫 ケナフ 表土②	3.347	0.079
10 月兵庫 ケナフ 表土③	5.081	0.119
10 月兵庫 ソルガム 表土①	5.959	0.139
10 月兵庫 ソルガム 深土①	2.189	0.052
10 月兵庫 ソルガム 表土②	3.335	0.079
10 月兵庫 ソルガム 深土③	1.932	0.046
ケナフ 10 月兵庫 葉 上	0.23	0.005
ケナフ 10 月兵庫 葉 下	0.397	0.009
ケナフ 10 月兵庫 皮 上	-0.013	0
ケナフ 10 月兵庫 皮 下	0.02	0
ケナフ 10 月兵庫 木質部 上	0.088	0.002
ケナフ 10 月兵庫 木質部 下	0.423	0.01
ケナフ 10 月兵庫 落ち葉	0.425	0.01
ケナフ 10 月兵庫 根	0.47	0.011
ケナフ 10 月兵庫 生殖 (つぼみ)	0.021	0
ケナフ 10 月兵庫 葉 上 2	0.257	0.006
ソルガム 10 月兵庫 茎 上	0.201	0.005
ソルガム 10 月兵庫 茎 下	0.328	0.008
ソルガム 10 月兵庫 葉 上	0.523	0.012
ソルガム 10 月兵庫 葉 下	0.572	0.014
ソルガム 10 月兵庫 根	0.576	0.014

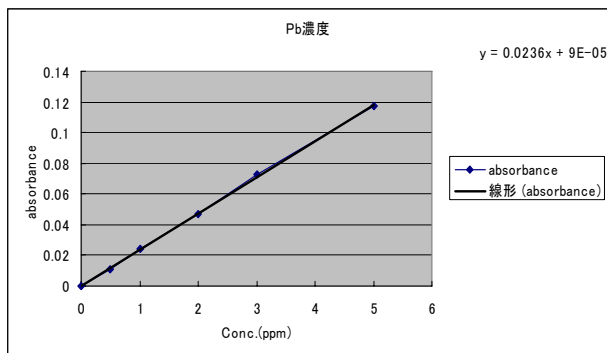


図 3. 表 5 の試料を測定した際の検量線および近似線式.

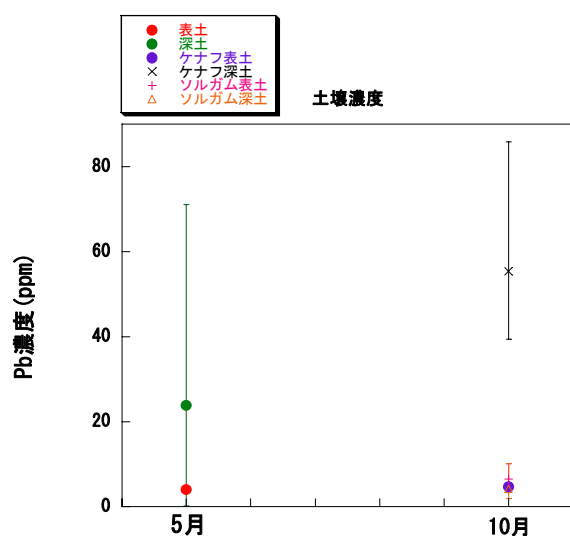


図 4. 土壌の鉛の濃度の変化.

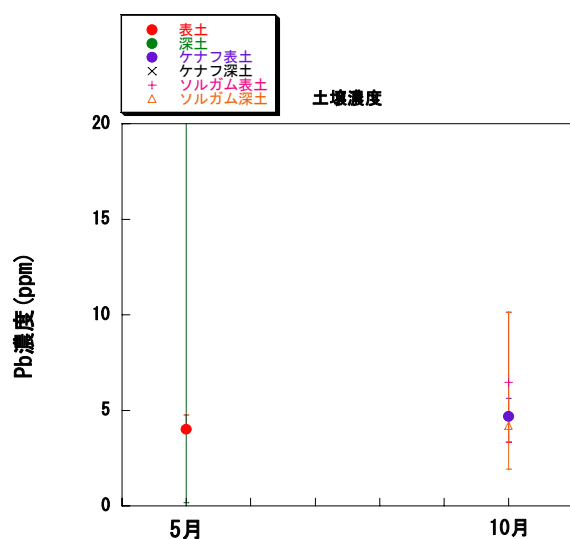


図 5. 図 4 のスケール変更した土壌の鉛の濃度の変化.

土壌の鉛の濃度は、5 月に比べると 10 月の土壌の方が全体的に濃度が濃くなってしまった。このことは、8 月の植物体と比較したときに 10 月の方が濃度が低くなっていることから、植物が鉛を毒だと判断し体内に吸収した鉛を排出してしまったのではないかと考えられる。

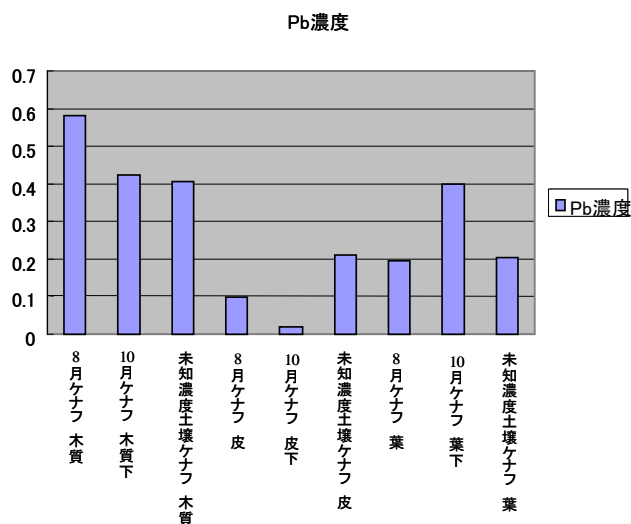


図 6. ケナフの Pb 濃度の変化.

ケナフの茎は皮よりも木質部の方が鉛を多く吸収している。このことより、植物の生きている部分である皮には鉛があまり蓄積されず、死亡している部分である木質部に多く鉛を蓄積していると考えられる。

ケナフでは、根から多くの鉛が検出された。落ち葉からは茎の部分で一番濃度が高かった木質部の下部と同等な濃度の鉛が検出された。

間引きをした 8 月の植物と 10 月に刈り入れをした植物を比較すると、ケナフでは葉以外の植物体から 10 月より 8 月の方が鉛を多く検出した。しかし、ソルガムでは葉の方が茎よりも鉛の濃度が高いことがわかった。

熱帯シミュレーションシステムにおける未知濃度土壌で栽培したケナフは、木質部に多く鉛が検出された。しかし、土壌の鉛の濃度が圧倒的に高いのに吸収した量は尼崎のケナフと大きな差は見られなかった。

ケナフおよびソルガムに共通しているのは、ケナフの場合 120cm 以下、ソルガムの場合 100cm 以下の植物体の方が鉛を多く吸収している。ソルガムでは葉に多く鉛が検出された。また根からも同等な濃度の鉛が検出された。

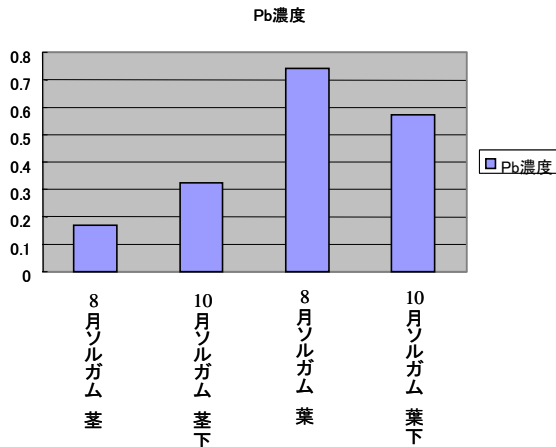


図 7. ソルガムの Pb 濃度の変化.

討論

ケナフは成長期に多く鉛を吸収し、成長が終わると逆に有毒と判断した物質を体外に排出しようと考えられる。ゆえに、効率良く重金属を吸収させるには、

成長途中で刈り入れた方が良いと考えられる。

また、ケナフよりソルガムの方が鉛を吸収しているので、より多くの重金属を吸収させるにはソルガムを使用したほうが良いと考えられる。

今後の課題として、水耕栽培を行い、重金属類の不純物を注入しない状態でケナフの体内にどのような金属が存在しているかを ICP 測定で確認する。そうすることで、汚染された土壌で栽したケナフがどの程度汚染物質を吸収したかが分かると考えられる。また、8 月の間引きでの土壌の濃度を調べることによって、土壌中の鉛の濃度の変化傾向がわかる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多大なるご協力を賜ったスミコンセルテック株式会社の森田正氏、二見達也氏、全面的なご指導ご鞭撻を賜わり、ご協力等いただきました西本研究室の西本右子先生、金生谷猛氏、本研究室の岸本龍介氏に深く感謝申し上げます。